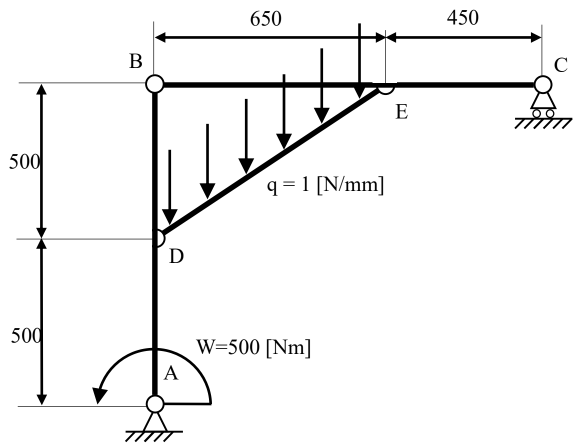
Fondamenti di Costruzioni Meccaniche
Esame scritto 17 luglio 2017

Nella struttura piana indicata in figura, formata da 3 aste (AB, BC e DE), calcolare le reazioni vincolari, le azioni interne e calcolare la rotazione della sezione in A.
Dati: A = 1000 [mm^2]; I = 92000 [mm^4]; E = 200 [GPa].

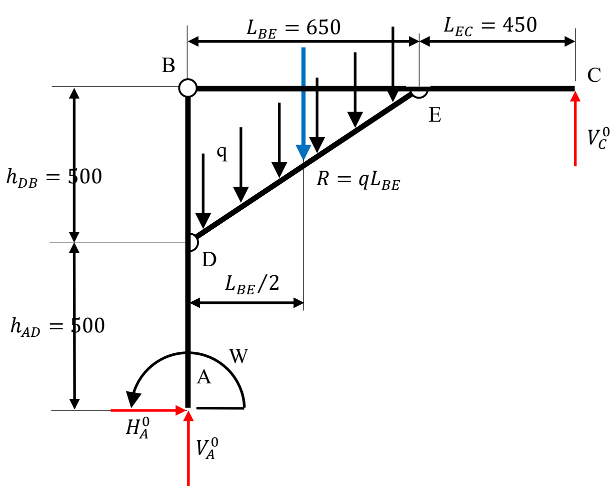


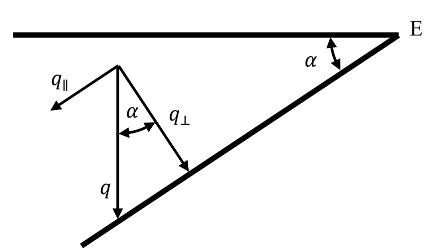
Alcuni calcoli preliminari:

$L_{DE} = \sqrt{650^2 + 500^2} = 820.061\ [mm]$; $650 \times tang(\alpha) = 500$ $\qquad \alpha = arctan\left(\frac{500}{650}\right) = 37.5686°$

La struttura è formata da tre aste (3x3=9 GDL) ed il numero di vincoli è pari a: 2 GDV nel nodo A, 2 GDV nel nodo B, 2 GDV nel nodo D, 2 GDV nel nodo E, 2 GDV nel nodo C, per complessivi 9 GDV. Inoltre la struttura non è labile.

Iniziamo calcolando le reazioni a terra. Sostituiamo i vincoli in A e C con le rispettive reazioni vincolari (colorate di rosso). Poiché si tratta del sistema degli spostamenti, indico le reazioni a terra e le azioni interne con l'apice "0".





La risultante dei carichi distribuiti è chiaramente verticale, ma quanto vale ?

La possiamo immaginare somma di due componenti, una perpendicolare all'asta DE ed una parallela, agenti per tutta la lunghezza dell'asta.

Le componenti del carico distribuito rispettivamente perpendicolare e parallelo all'asta valgono:

$$q_{\perp} = q \times cos(\alpha) \qquad ; \qquad q_{\parallel} = q \times sen(\alpha)$$

Le risultanti valgono quindi:

$$R_{\perp} = q_{\perp} \times L_{DE} = q \times cos(\alpha) \times L_{DE}$$

$$R_{\parallel} = q_{\parallel} \times L_{DE} = q \times sen(\alpha) \times L_{DE}$$

Proiettando le due componenti in direzione verticale, ricordando che $sen^2(\alpha) + cos^2(\alpha) = 1$ abbiamo:

$$R = R_{\perp} \times cos(\alpha) + R_{\parallel} \times sen(\alpha) = q \times cos^2(\alpha) \times L_{DE} + q \times sen^2(\alpha) \times L_{DE} = q \times L_{DE}$$

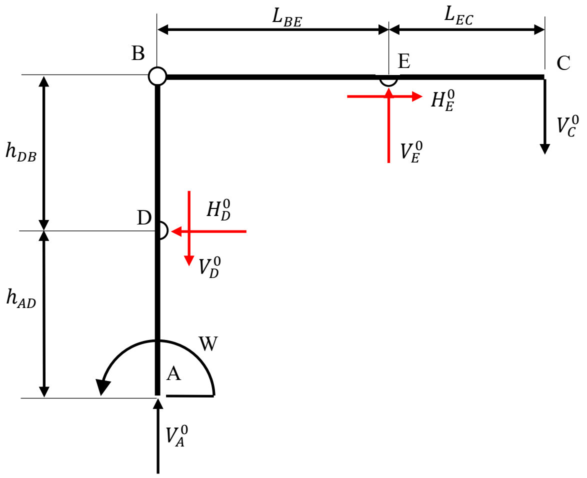
1) Equilibrio delle forze orizzontali:
   $\sum F_x = H_A^0 = 0$
2) Equilibrio delle forze verticali:
   $\sum F_y = V_A^0 + V_C^0 - R = 0$ (ci sono due incognite: l'equazione verrà utilizzata in seguito)
3) Equilibrio alla rotazione intorno al punto A:
   $\sum M_A = R\frac{L_{BE}}{2} - V_C^0(L_{BE} + L_{EC}) - W = 0$ da cui:

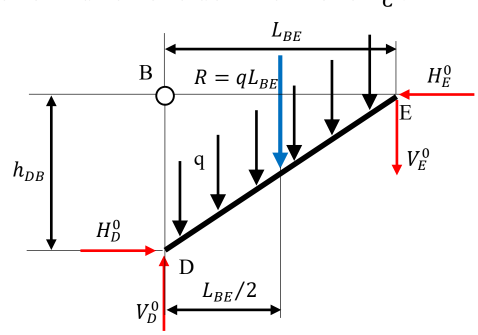
$$V_C^0 = \frac{RL_{BE} - 2W}{2(L_{BE} + L_{EC})} = \frac{q \cdot L_{DE} \cdot L_{BE} - 2W}{2(L_{BE} + L_{EC})} = \frac{820.061 \cdot 650 - 10^6}{2(650 + 450)} = -212.255\ [N]$$

Dalla seconda equazione otteniamo:

$$V_A^0 = R - V_C^0 = qL_{DE} - V_C^0 = 1 \times 820.061 + 212.255 = 1032.316\ [N]$$

Calcoliamo le reazioni interne. Per eseguire i calcoli apriamo la struttura sostituendo i vincoli interni con le reazioni incognite (colorate di rosso). Ma prima inverto la direzione della reazione V_C^0.





1) Equilibrio alla rotazione dell'asta AB intorno al punto B:
   $\sum M_B(Asta\ AB) = W - H_D^0 h_{DB} = 0$ da cui: $H_D^0 = \frac{W}{h_{DB}} = \frac{500000}{500} = 1000\ [N]$
2) Equilibrio alla rotazione dell'asta BC intorno al punto B:
   $\sum M_B(Asta\ BC) = V_C^0(L_{BE} + L_{EC}) - V_E^0 L_{BE} = 0$ da cui:

$$V_E^0 = \frac{L_{BE} + L_{EC}}{L_{BE}} V_C^0 = \frac{1100}{650} 212.255 = 359.201\ [N]$$

3) Equilibrio delle forze orizzontali nella struttura ABC:
$\sum F_x(Asta\ AB + ASTA\ BC) = H_E^0 - H_D^0 = 0$ da cui:

$$H_E^0 = H_D^0 = 1000\ [N]$$

4) Equilibrio delle forze verticali nella struttura ABC:
$\sum F_y(Asta\ AB + ASTA\ BC) = V_A^0 - V_D^0 + V_E^0 - V_C^0 = 0$ da cui:

$$V_D^0 = V_A^0 + V_E^0 - V_C^0 = 1032.316 + 359.201 - 212.255 = 1179.262\ [N]$$

Come verifica, possiamo controllare che l'asta DE stia in equilibrio:

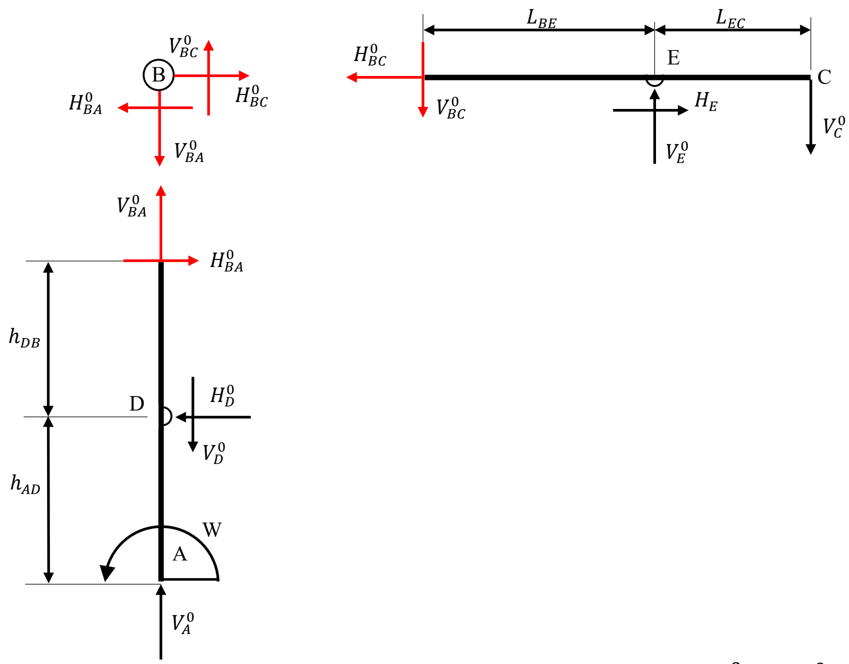
1) Equilibrio delle forze orizzontali dell'asta DE:
$\sum F_x(Asta\ DE) = H_E^0 - H_D^0 = 0$ verificato !

2) Equilibrio delle forze verticali dell'asta DE:
$\sum F_y(Asta\ DE) = V_E^0 + R - V_D^0 = 0$ verificato !

3) Equilibrio alla rotazione dell'asta DE intorno al punto D:
$\sum M_D(Asta\ DE) = R\frac{L_{BE}}{2} + V_E^0 L_{BE} - H_E^0 h_{BD} = 0$ sostituendo i valori abbiamo:

$820.061\frac{650}{2} + 359.201 \times 650 - 1000 \times 500 = 0$ verificato !

Possiamo adesso aprire la struttura intorno al punto B per calcolare le reazioni incognite (colorate di rosso).



1) Equilibrio delle forze orizzontali sull'asta BC: $\sum F_x(Asta\ BC) = H_{BC}^0 - H_E^0 = 0$
2) Equilibrio delle forze verticali sull'asta BC: $\sum F_y(Asta\ BC) = V_{BC}^0 - V_E^0 + V_C^0 = 0$
3) Equilibrio delle forze orizzontali sul nodo B: $\sum F_x(Asta\ BC) = H_{BC}^0 - H_{BA}^0 = 0$
4) Equilibrio delle forze verticali sul nodo B: $\sum F_y(Asta\ BC) = V_{BC}^0 - V_{BA}^0 = 0$

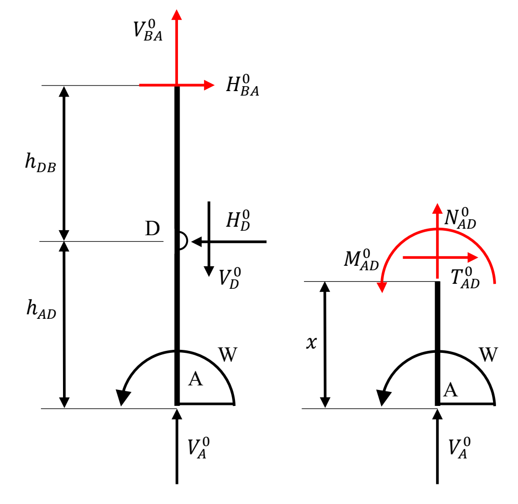
Otteniamo i seguenti risultati:

$$H_{BC}^0 = H_{BA}^0 = H_E^0 = 1000\ [N]$$

$$V_{BC}^0 = V_{BA}^0 = V_E^0 - V_C^0 = 359.201 - 212.255 = 146.946\ [N]$$

EQUAZIONI DELLE AZIONI INTERNE NELLA STRUTTURA REALE

ASTA ADB: Per $0 \leq x \leq h_{AD}$



$$\sum F_{\parallel} = N^0_{AD} + V^0_A = 0$$

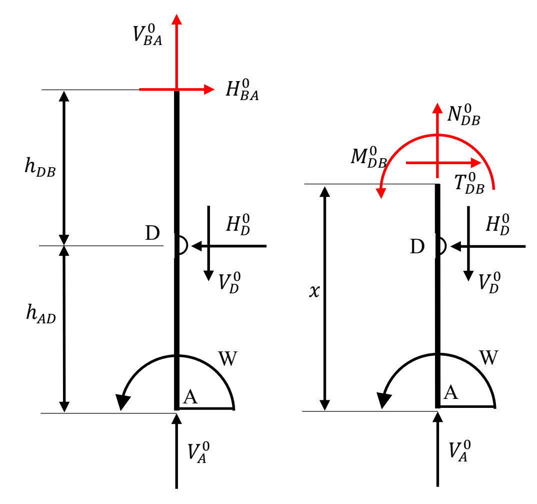
da cui $N^0_{AD} = -V^0_A = -1032.316\ [N]$

$$\sum F_{\perp} = T^0_{AD} = 0$$

$$\sum M_A = M^0_{AD} + W = 0$$

da cui $M^0_{AD} = -W = -500000\ [Nmm]$

ASTA ADB: per $h_{AD} \leq x \leq h_{AD} + h_{DB}$



$\sum F_{\parallel} = N^0_{DB} + V^0_A - V^0_D = 0$ da cui

$N^0_{AD} = V^0_D - V^0_A = 1179.262 - 1032.316 = 146.946\ [N]$

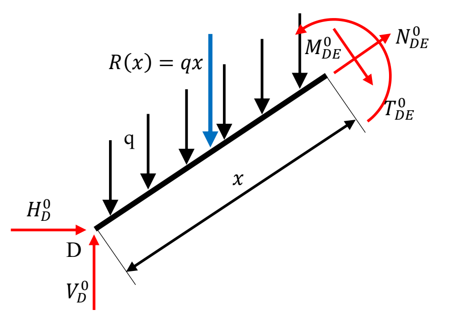
$\sum F_{\perp} = T^0_{DB} - H^0_D = 0$ da cui $T^0_{DB} = H^0_D = 1000\ [N]$

$\sum M_x = M^0_{DB} + W - H^0_D(x - h_{AD}) = 0$ da cui

$M^0_{DB} = H^0_D(x - h_{AD}) - W =$

$= 1000(x - 500) - 500000 = 1000x - 10^6\ [Nmm]$

ASTA DE: per $0 \leq x \leq L_{DE}$



$$\sum F_{\parallel} = N^0_{DE}(x) + (V^0_D - qx)sin(\alpha) + H^0_D cos(\alpha) = 0$$

$$\sum F_{\perp} = T^0_{DE}(x) + H^0_D sin(\alpha) + (qx - V^0_D)cos(\alpha) = 0$$

$$\sum M_D = M^0_{DE} - T^0_{DE}(x)x - q\frac{x^2}{2}cos(\alpha) = 0$$

Dalla prima equazione ricaviamo: $N^0_{DE}(x) = (qx - V^0_D)sin(\alpha) - H^0_D cos(\alpha)$

da cui: $N^0_{DE}(x) = 0.6097x - 1511.633\ [N]$

Dalla seconda equazione ricaviamo: $T^0_{DE}(x) = -H^0_D sin(\alpha) + (V^0_D - qx)cos(\alpha)$

da cui: $T^0_{DE}(x) = -0.7926x + 325$

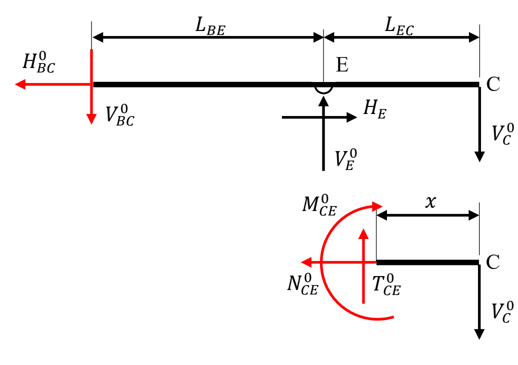
Il taglio si annulla quando $-0.7926x + 325 = 0$ cioè per $x = \frac{325}{0.7926} = 410.043\ [mm]$

Dalla terza equazione ricaviamo: $M^0_{DE} = q\frac{x^2}{2}cos(\alpha) + T^0_{DE}(x)x = -\frac{qcos(\alpha)}{2}x^2 + 325x$

da cui: $M^0_{DE} = (-0.3963x + 325)x$

Quando $x = 0$ e quando $x = L_{DE} = 820.061$ il momento è nullo.

ASTA BEC: per $0 \leq x \leq L_{EC}$



$\sum F_\parallel = N^0_{CE}(x) = 0$

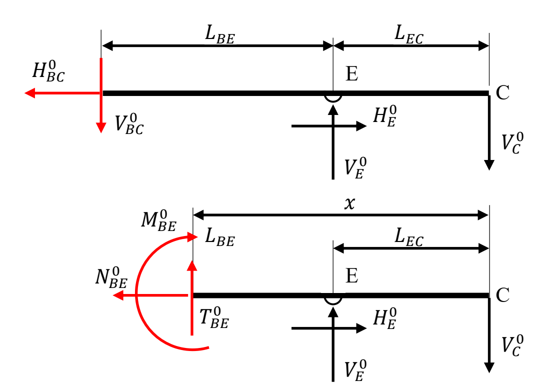
$\sum F_\perp = T^0_{CE}(x) - V^0_C = 0$ da cui

$T^0_{CE}(x) = V^0_C = 212.255\ [N]$

$\sum M_x = M^0_{CE} + V^0_C x = 0$ da cui

$M^0_{CE} = -V^0_C x = -212.255\ x$

ASTA BEC: per $0 \leq x \leq L_{EC}$



$\sum F_\parallel = N^0_{BE}(x) - H^0_E = 0$

$\sum F_\perp = T^0_{BE}(x) + V^0_E - V^0_C = 0$

$\sum M_x = M^0_{BE} - V^0_E(x - L_{EC}) + V^0_C x = 0$

Dalla prima equazione abbiamo: $N^0_{BE}(x) = H^0_E = 1000\ [N]$

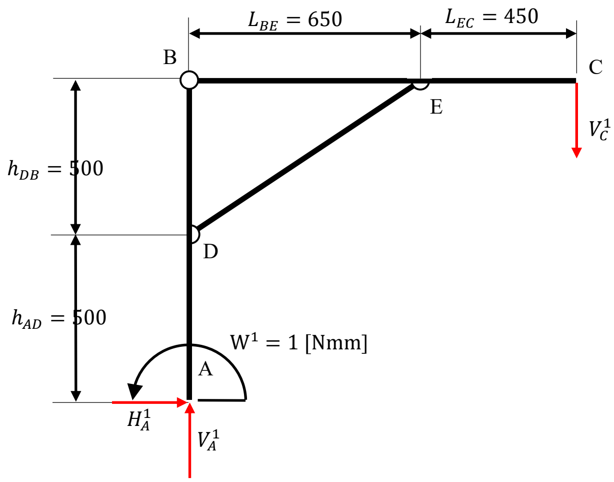
Dalla seconda equazione abbiamo: $T^0_{BE}(x) = V^0_C - V^0_E = 212.255 - 359.201 = -146.946\ [N]$

Dalla terza equazione abbiamo: $M^0_{BE} = \left(V^0_E - V^0_C\right)x - V^0_E L_{EC} = 146.946\ x - 161640.45$

Quando $x = 1100\ [mm]$, (cioè nel nodo B) il momento è nullo.

SISTEMA DELLE FORZE

Poiché l'obiettivo è il calcolo della rotazione del punto A, applichiamo nel nodo una coppia unitaria.



Trattandosi del sistema delle forze, indicherò le reazioni vincolari e le azioni interne con l'indice "1", per distinguere le corrispondenti quantità relative al sistema degli spostamenti (indicate con l'indice "0").

Osserviamo che la soluzione di questo problema è già contenuta nella soluzione precedente: per ottenerla è infatti sufficiente eliminare dalle precedenti equazioni, il carico distribuito q ed assegnare alla coppia concentrata W^1 applicata nel nodo A il valore unitario. Riassumo i risultati nelle seguenti tabelle.

Reazioni vincolari

Sistema degli spostamenti: $q = 1\ [\frac{N}{mm}];\ R = q \times L_{DE};\ W = 500000\ [Nmm]$	Sistema delle forze: $q = 0,\ R = 0,$ e $\mathrm{W}^1 = 1\ [Nmm]$
$H_A^0 = 0$	$H_A^1 = 0$
$V_C^0 = \dfrac{2W - RL_{BE}}{2(L_{BE} + L_{EC})} = 212.255\ [N]$	$V_C^1 = \dfrac{1}{(L_{BE} + L_{EC})} = \dfrac{1}{1100}$
$V_A^0 = R - V_C^0 = qL_{DE} - V_C^0 = 1032.316\ [N]$	$V_A^1 = V_C^1 = \dfrac{1}{1100}$
$H_D^0 = \dfrac{W}{h_{DB}} = 1000\ [N]$	$H_D^1 = \dfrac{1}{h_{DB}} = \dfrac{1}{500}\ [N]$
$V_E^0 = \dfrac{L_{BE} + L_{EC}}{L_{BE}} V_C^0 = 359.201\ [N]$	$V_E^1 = \dfrac{L_{BE} + L_{EC}}{L_{BE}} V_C^1 = \dfrac{1}{650}\ [N]$
$H_E^0 = H_D^0 = 1000\ [N]$	$H_E^1 = H_D^1 = \dfrac{1}{500}\ [N]$
$V_D^0 = V_A^0 + V_E^0 - V_C^0 = 1179.262\ [N]$	$V_D^1 = V_A^1 + V_E^1 - V_C^1 = \dfrac{1}{650}\ [N]$
$H_{BC}^0 = H_{BA}^0 = H_E^0 = 1000\ [N]$	$H_{BC}^1 = H_{BA}^1 = H_E^1 = \dfrac{1}{500}\ [N]$
$V_{BC}^0 = V_{BA}^0 = V_E^0 - V_C^0 = 146.946\ [N]$	$V_{BC}^1 = V_{BA}^1 = V_E^1 - V_C^1 = \dfrac{9}{14300}\ [N]$

Azioni Interne

Zona	Sistema degli spostamenti	Sistema delle forze
ASTA ADB: Per $0 \leq x \leq h_{AD}$	$N_{AD}^0 = -1032.316\ [N]$ $T_{AD}^0 = 0\ [N]$ $M_{AD}^0 = -500000\ [Nmm]$	$N_{AD}^1 = -V_A^1 = \frac{-1}{1100}\ [N]$ $T_{AD}^1 = 0\ [N]$ $M_{AD}^1 = -W^1 = -1\ [Nmm]$
ASTA ADB: per $h_{AD} \leq x \leq h_{AD} + h_{DB}$	$N_{AD}^0 = 146.946\ [N]$ $T_{DB}^0 = 1000\ [N]$ $M_{DB}^0 = 1000x - 10^6\ [Nmm]$	$N_{AD}^1 = V_D^1 - V_A^1 = \frac{9}{14300}\ [N]$ $T_{DB}^1 = H_D^1 = \frac{1}{500}\ [N]$ $M_{DB}^1 = H_D^1(x - h_{AD}) - W^1 = \frac{x}{500} - 2$
ASTA DE: per $0 \leq x \leq L_{DE}$	$N_{DE}^0(x) = 0.6097x - 1511.633\ [N]$ $T_{DE}^0(x) = -0.7926x + 325\ [N]$ $M_{DE}^0 = (-0.3963x + 325)x\ [Nmm]$	$N_{DE}^1(x) = -V_D^1 sin(\alpha) - H_D^1 cos(\alpha) = -\frac{1}{396.312}\ [N]$ $T_{DE}^1(x) = V_D^1 cos(\alpha) - H_D^1 sin(\alpha) = 0\ [N]$ $M_{DE}^0 = 0\ [Nmm]$
ASTA BEC: per $0 \leq x \leq L_{EC}$	$N_{CE}^0(x) = 0\ [N]$ $T_{CE}^0(x) = 212.255\ [N]$ $M_{CE}^0 = -212.255\, x\ [Nmm]$	$N_{CE}^1(x) = 0\ [N]$ $T_{CE}^1(x) = \frac{1}{1100}\ [N]$ $M_{CE}^1 = -V_C^1 x = \frac{-x}{1100}\ [Nmm]$
ASTA BEC: per $L_{EC} \leq x \leq L_{CE} + L_{EB}$	$N_{BE}^0(x) = 1000\ [N]$ $T_{BE}^0(x) = -146.946\ [N]$ $M_{BE}^0 = 146.946\, x - 161640.45\ [Nmm]$	$N_{BE}^1(x) = H_E^1 = \frac{1}{500}\ [N]$ $T_{BE}^1(x) = V_C^1 - V_E^1 = \frac{1}{1100} - \frac{1}{650} = -\frac{9}{14300}\ [N]$ $M_{BE}^1 = (V_E^1 - V_C^1)x - V_E^1 L_{EC} = \frac{9}{14300}\, x - \frac{9}{13}\ [Nmm]$

CALCOLO DELLA ROTAZIONE PER MEZZO DEL PRINCIPIO DEI LAVORI VIRTUALI

$$\vartheta_A = \int \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI} dx + \int \frac{N_0(x)N_1(x)}{EA} dx + \int \frac{\chi T_0(x)T_1(x)}{GA} dx$$

dove gli integrali si estendono a tutta la struttura. Esaminiamo i singoli termini della sommatoria:

$$\int \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI} dx = \int_A^D \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI} dx + \int_D^B \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI} dx + \int_D^E \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI} dx + \int_C^E \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI} dx + \int_E^B \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI} dx$$

Osserviamo che nel sistema delle forze l'asta **DE** è una biella scarica e pertanto lungo di essa sono nulli sia il taglio $T_1(x)$ che il momento flettente $M_1(x)$; inoltre, poiché $EI = costante$, possiamo scrivere:

$$\int \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI}dx = \frac{1}{EI}\left[\int_A^D M_0(x)M_1(x)dx + \int_D^B M_0(x)M_1(x)dx + \int_C^E M_0(x)M_1(x)dx + \int_E^B M_0(x)M_1(x)dx\right]$$

$$\int_A^D M_0(x)M_1(x)dx = \int_0^{500}(-500000)(-1)dx = [500000 \times x]_0^{500} = 25 \times 10^7$$

$$\int_D^B M_0(x)M_1(x)dx = \int_{500}^{1000}(1000x - 10^6)\left(\frac{x}{500} - 2\right)dx = \left[2\frac{x^3}{3} - 4000\frac{x^2}{2} + 2 \times 10^6 \times x\right]_{500}^{1000} = 83333333.3$$

$$\int_C^E M_0(x)M_1(x)dx = \int_0^{450}(-212.255\, x)\left(\frac{-x}{1100}\right)dx = \frac{212.255}{1100}\frac{450^3}{3} = 5861132.386$$

$$\int_E^B M_0(x)M_1(x)dx = \int_{450}^{1100}(146.946\, x - 161640.45\,)\left(\frac{9}{14300}\, x - \frac{9}{13}\right)dx =$$

$$= \left[9\left(\frac{146.946}{14300} \times \frac{x^3}{3} - 22.6071 \times \frac{x^2}{2} + \frac{161640.45}{13} \times x\right)\right]_{450}^{1100} = 8465921.3$$

Sommando i diversi contributi abbiamo:

$$\int \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI}dx = \frac{1}{EI}[25 \times 10^7 + 83333333.3 + 5861132.386 + 8465921.3] = 0.01889\ [rad] = 1.083°$$

Nel tratto EC l'azione normale $N_0(x)$ e $N_1(x)$ è nulla per cui:

$$\int \frac{N_0(x)N_1(x)}{EA}dx = \frac{1}{EA}\left[\int_A^D N_0(x)N_1(x)dx + \int_D^B N_0(x)N_1(x)dx + \int_E^B N_0(x)N_1(x)dx + \int_E^D N_0(x)N_1(x)dx\right]$$

$$\int_A^D(-1032.316\,)\left(\frac{-1}{1100}\right)dx = \int_0^{500}\frac{1032.316}{1100}dx = \frac{1032.316}{1100}500 = 469.23$$

$$\int_D^B(146.946)\left(\frac{9}{14300}\right)dx = \int_{500}^{1000}(146.946)\left(\frac{9}{14300}\right)dx = 0.09248 \times (1000 - 500) = 46.242$$

$$\int_E^B(1000)\left(\frac{1}{500}\right)dx = \int_{450}^{1100}(1000)\left(\frac{1}{500}\right)dx = 2 \times (1100 - 450) = 1300$$

$$\int_E^D(0.6097x - 1511.633\,)\left(-\frac{1}{396.312}\right)dx = \left[-\frac{x^2}{1300} + 3.814 \times x\right]_0^{820.061} = 2610.62$$

Sommando i diversi contributi abbiamo:

$$\int \frac{N_0(x)N_1(x)}{EA}dx = \frac{4426}{EA} = 2.213 \times 10^{-5}[rad] = 0.0013°$$

Nel tratto AD e nel tratto DE il taglio è nullo, di conseguenza il contributo del taglio è:

$$\int \frac{\chi T_0(x)T_1(x)}{GA}dx = \frac{\chi}{GA}\left[\int_D^B T_0(x)T_1(x)dx + \int_E^B T_0(x)T_1(x)dx + \int_C^E T_0(x)T_1(x)dx\right]$$

$$\int_D^B T_0(x)T_1(x)dx = \int_{500}^{1000} 1000 \times \frac{1}{500}dx = 2 \times (1000 - 500) = 1000$$

$$\int_C^E T_0(x)T_1(x)dx = \int_0^{450} 212.255 \times \frac{1}{1100}dx = 86.832$$

$$\int_E^B T_0(x)T_1(x)dx = \int_{450}^{1100}(-146.946)\left(-\frac{9}{14300}\right)dx = 0.09248 \times (1100 - 450) = 60.114$$

Sommando i diversi contributi abbiamo:

$$\int \frac{\chi T_0(x)T_1(x)}{GA}dx = \frac{\chi}{GA}[1000 + 86.832 + 60.114] = 1146.95\frac{\chi}{GA}$$

Posto il coefficiente di Poisson pari a 0.3 e il fattore di taglio χ pari a 1.2 abbiamo:

$$G = \frac{E}{2(1+v)} = 76923\ [MPa]$$

e

$$\int \frac{\chi T_0(x)T_1(x)}{GA}dx = 1146.95\frac{\chi}{GA} = 1.8 \times 10^{-5}\ [rad] = 0.001°$$

Infine abbiamo:

$$\vartheta_A = \int \frac{M_0(x)M_1(x)}{EI}dx + \int \frac{N_0(x)N_1(x)}{EA}dx + \int \frac{\chi T_0(x)T_1(x)}{GA}dx =$$

$$= \left(0.01889 + 2.213 \times 10^{-5} + 1.8 \times 10^{-5}\right)[rad] = 0.01893\ [rad] = 1.0846°$$

Come si può osservare, i contributi del taglio e dell'azione normale sono trascurabili rispetto al valore prodotto dal momento flettente.

DISEGNO DEI DIAGRAMMI DELLE AZIONI INTERNE

Per il disegno dei diagrammi delle azioni interne non ho a disposizione un software che mi consenta di realizzarli in modo agevole. Avrei potuto digitalizzare i disegni fatti a mano libera, ma lo spazio di memoria necessario per contenere i file digitalizzati su computer è molto grande ed ho quindi preferito utilizzare un programma di calcolo strutturale (ANSYS) che però rappresenta i diagrammi dei momenti flettenti seguendo una convenzione dei segni diversa da quella abituale che consiste nel disegnarli dalla parte delle fibre tese. Per questo motivo, quando sarà necessario, indicherò se i diagrammi sono stati disegnati come ci si attenderebbe secondo le convenzioni abituali.

Fatta questa premessa, ecco i diagrammi delle azioni interne della struttura proposta nel compito.

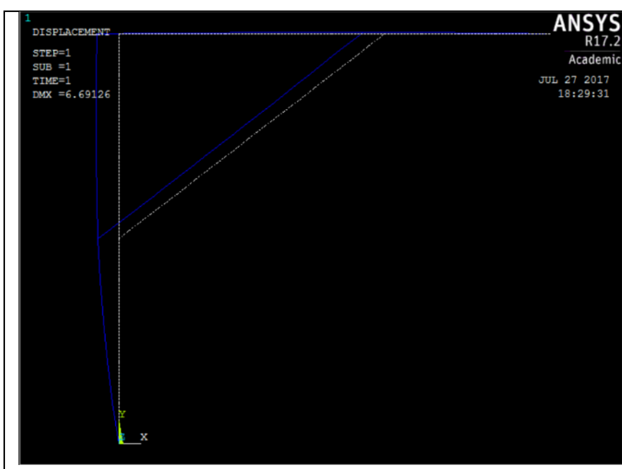


Fig. 1 – Deformata: la rotazione della cerniera nel punto A, vale circa 0.018933 [rad]=1.0848°.

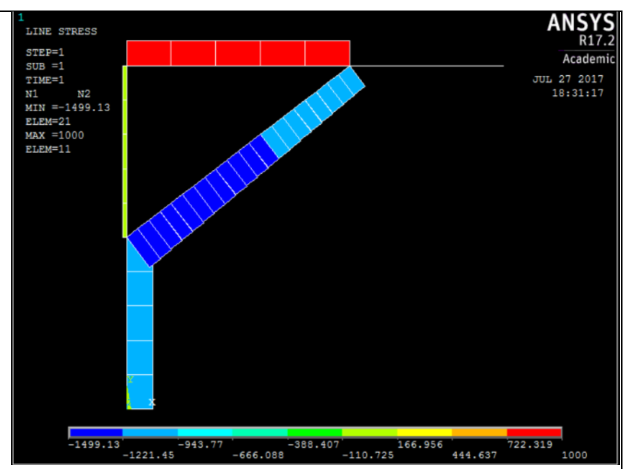


Fig.2 – Azione Normale

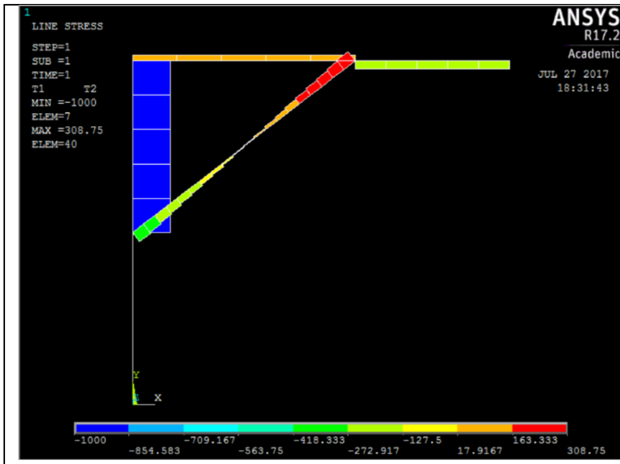


Fig.3 – Azione di Taglio

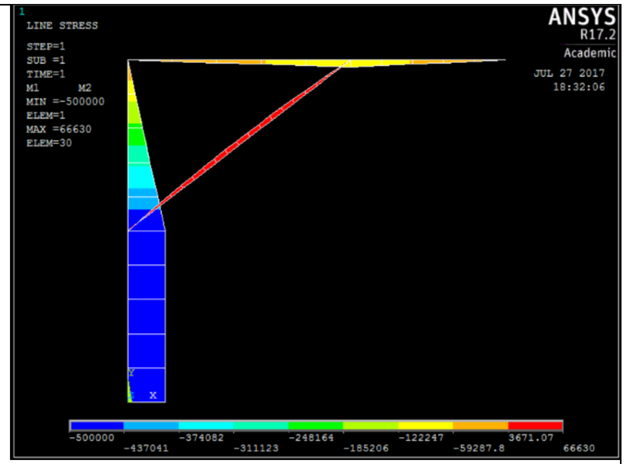


Fig.4 – Momento flettente

Come si può osservare nella Fig.4, ANSYS ha disegnato i diagrammi dalla parte delle fibre compresse. A parte questo particolare grafico, i valori calcolati sono molto prossimi a quelli trovati precedentemente e raccolti nella tabella seguente.

Zona	Azione normale [N]	Azione di Taglio [N]	Momento flettente [Nmm]
ASTA ADB: Per $0 \leq x \leq h_{AD}$	$N_{AD}^0 = -1032$	$T_{AD}^0 = 0$	$M_{AD}^0 = -500000$
ASTA ADB: per $h_{AD} \leq x \leq h_{AD} + h_{DB}$	$N_{AD}^0 = 147$	$T_{DB}^0 = 1000$	$M_{DB}^0 = 1000x - 10^6$ $M_D^0(x = 500) = -500000$ $M_B^0(x = 1000) = 0$
ASTA DE: per $0 \leq x \leq L_{DE}$	$N_{DE}^0 = 0.6097x - 1512$ $N_D^0(x = 0) = -1512$ $N_E^0(x = 820) = 500$	$T_{DE}^0 = -0.7926x + 325$ $T_D^0(x = 0) = 325$ $T_E^0(x = 820) = -325$	$M_{DE}^0 = (-0.3963x + 325)x$ $M_D^0(x = 0) = 0$ $M_E^0(x = 820) = 0$
ASTA BEC: per $0 \leq x \leq L_{EC}$	$N_{CE}^0 = 0$	$T_{CE}^0 = 212$	$M_{CE}^0 = -212.255\,x$ $M_{C0}^0(x = 0) = 0$ $M_E^0(x = 450) = -95515$
ASTA BEC: per $L_{EC} \leq x \leq L_{CE} + L_{EB}$	$N_{BE}^0 = 1000$	$T_{BE}^0 = -147$	$M_{BE}^0 = 146.946\,x - 161640$ $M_E^0(x = 450) = -95515$ $M_B^0(x = 1100) = 0$